

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-198465

(43)Date of publication of application : 11.07.2003

(51)Int.Cl.

H04B 10/02
G02F 1/35
H01S 3/10
H01S 3/30
H04B 10/16
H04B 10/17
H04B 10/18
H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 2001-390366

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 21.12.2001

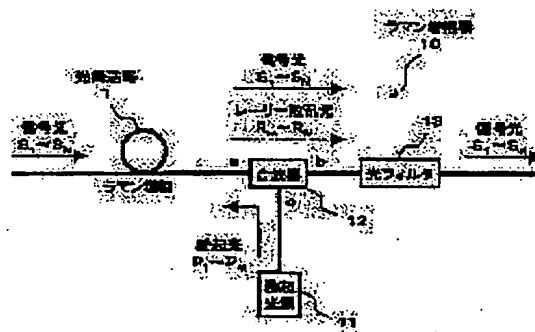
(72)Inventor : TANAKA TOSHIKI
TORII KENICHI
NAITO TAKAO

(54) RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a Raman amplifier and an optical transmission system capable of reducing characteristic degradation caused by stimulation light coexisting in the wavelength band of a signal light.

SOLUTION: This Raman amplifier 10 is provided with a stimulation light source 11 generating the stimulation lights P1-PM having the wavelength band overlapping with the wavelength band of the signal light, a multiplex part 12 supplying the stimulation lights P1-PM to an optical transmission line 1 as rear stimulation light, and an optical filter 13 suppressing the Rayleigh scattered light of the stimulation light included in the light transmitted through the multiplex part 12 from a port (a) to a port (b).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

識別記号	P I	チーエー・エー(分年)
(51)Int.C1'		
H04B 10/02	G02F 1/35	2K002
G02F 1/35	H01S 3/10	5P073
H01S 3/10	3/30	5K002
3/30	H04B 9/00	M
H04B 10/18	J	

審査請求 実請求 請求項の数 5 OL (全 18 頁) 発明頁に就く

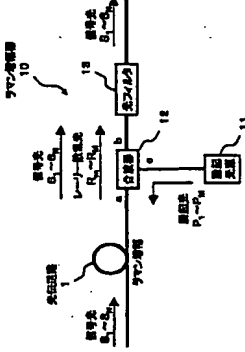
(21) 出願番号	特願2001-390366 (P2001-390366)	(71) 出願人	000005223
			富士通株式会社
(22) 出願日	平成13年12月21日 (2001.12.21)	特許代理人	100078330
			弁理士 松島 第一級

(54) 【発明の名称】 ラマン増幅器および光伝送システム

(57)【要約】

【解説】信号光の波長帯域内に存在する励起光が原因となって生じる特性劣化を低減することのできるラマン増幅器および光伝送システムを提供する。

〔解説手段〕本発明のラマン増倍器10は、信号光の波長帯域に重なる波長帯域を持つ励起光 P_1 、 P_2 を発生する励起光源11と、励起光 P_1 、 P_2 を光伝送路1に搬送する励起光として供給する波源部12と、合波部13をポートからポートへと通過した光に含まれる励起光のレーザ光を叩上する光フィルタ13を備えて構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光が伝播する光伝送路上の増幅媒体に
励起光を供給し、該増幅媒体を伝播する信号光をラマン
増幅するラマン増幅器であって、

励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有するとき、

前配増幅媒体を伝搬した光に含まれる、前配増幅光の波長帯域に重なる領域内の励起光と同一波長の光成分を抑制可能な励起光波長抑圧部を備えて構成されたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項２】請求項１に記載のラマン増幅器であって、
励起光を発生する励起光発生部と、

逆方向に伝搬する後方励起光として前記増幅媒に供給す

る合波部と、を備え、前記屈折光波長抑圧部が、前記増幅媒体を伝播した光に含まれる後方屈折光のレーザ散乱光を抑圧することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 3】請求項 2 に記載のラマン増幅器であって、前記合波部は、前記増幅媒体の信号光出力端に接続する

第1ポートと、前記励起光波長抑圧部の入力端に接続する第2ポートと、前記励起光発生部の出力端に接続する

第3ボートと、を有し、前記第1ボートから前記第2ボートに向かう光および前記第3ボートから前記第1ボートに向かう光

トに向かう光を伝達可能な方向性を持つことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 4】請求項 1 に記載のラマン増幅器であって、励起光を発生する励起光発生部と、

較励起光発生部からの励起光を信号光の伝播方向と同じ方向に伝播する前方励起光として前記増幅媒体に供給す

る合波部と、を備え、前記増幅媒体を伝搬した光に

含まれる前方励起光の

るラマン増幅

（請求項5）信号光が伝搬する光伝送路上の増幅媒体にラマン増幅器からの励起光を供給して信号光をラマン増幅しながら伝送する光伝送システムであって、

特開2003-198485

[0002]

【従来の技術】従来、長距離の光伝送システムとしては光増幅器を電氣増幅器に代換し、タミヤム増生 (retiming) を行形彩色化 (reshaping) および複製増生 (regenerating) を行う増生装置が知られている。しかし、増生装置が複製増生装置であるため、光増幅増中継伝送方式が検討されている。光増中継器の中継器は光増幅増中継器に置き換えることにより、中継器内の部品コストダウンが図られ、信頼性を向上すると共に大増幅コストダウンが図られる。

【0003】また、光伝送システムの大容量化を実現する方法のひとつとして、1本の伝送路に2つ以上の異なる波長を持つ光信号を多重して伝送する波長多重(WDM)光伝送方式が注目されている。上記の波長多重(WDM)光伝送方式とWDM光伝送方式とを組み合わせたWDM光増幅中継伝送方式においては、光増幅器を用いてWDM値増光を一括して増幅することが可能であり、簡単な構成(経済的)で、大容量かつ長距離伝送が実現可能である。

[0004] 図25は、一般的なWDM光増幅中継装置の構成例を示す図である。図25のシステムでは、例えば、光送信側101と、光受信側102とは、それぞれ送受変調器を接続する光伝送路103と、その光伝送路103の途中に所要の間隔で配置される複数の光増幅器104とから構成される。光送信側101は、波長多重化された複数の光信号とそれら出力する複数の光伝送路103との異なる複数の光信号とをそれぞれ出力する複数の光増幅器104と、複数の光信号を波長多重化する光合波器101Bと、合波器101BからのWDM信号光を受信する光受信側102と、合波器101BからのWDM信号光を受信する光受信側102に増強して光伝送路103に出力する光変調アンプ101Cとを有する。光受信側102は、光伝送路103を介して伝送されてきた各波長のWDM信号光と、プリアンプ102Cからの出力光を波長に応じて複数の光信号をそれぞれ受け分ける分波器102Bと、複数の光信号をそれぞれ復調処理する複数の光受信側(O/E)102Aとを有する。光伝送路103は、光送信側101および光受信側102の両方をそれぞれ接続する複数の光伝送路を有する。光送信側101から送信されたWDM信号光は、光伝送路103を伝搬し、中継区間ごとに配置される光中継器104にて光増強され、再び光伝送路103を伝搬し、それを繰り返して光受信側102まで伝送され

[illegible]

ラマン増幅器ではなく、その内部に増幅媒体を備えた集

【0050】このように従来の光伝送システム100A
では、図18の概念図に示すように、各中継区間のラ
ン増幅器10において後段増幅のレーザレーザ光束(ま
たは前方増幅の増幅光)が抑圧されるため、一般的な
システムのために、信号光の波長帯域域域に偏在する局所
光のレーザ光束がラン増幅されながら中継伝送さ
れて累積し、その光パワーが信号光に比べて過剰に大
きくなってしまふような事態が回避される。これによ
り、ラン増幅のレーザ光束等が増幅となって生じるクロス
トークや光散逸、ラン増幅の特性変化などによる信
号劣化を低減することができ、広帯域のWDM信号光を良
好に伝送することができる。以下、広帯域にわたる

好な特性²⁾の中にも、上記の光伝送システム100Aで用いられるような、上層の光伝送システム100Aでは、すべての中継区間に對して本発明によるラマン増幅器10を適用するようになしたが、例えば図1のシステム100Aに示すように、所要数の中継区間のみをラマン増幅器10を適用し、他の中継区間はラマン増幅器10を適用していないとしてもよい。また、例えば本発明のラマン増幅器10とEDF A等の公知の光増幅器とを組合わせたものを本発明のラマン増幅器に適用して、高輝度のレーザ光を発生させることも可能である。

【0052】次に、本発明にかかる光伝送システムの一実施形態について説明する。図18は、第2実施形態の光伝送システムの全体構成を示す図である。図18は、上流の光伝送システムの全体構成を示す図である。図18において、本光伝送システムは構成において、中継器25に示される一般的なシステム構成を行う中継区間（以下、利用等区間とする）が設定されている場合に、送されるWDM信号の光伝送システムは、同一波長の光成分を中継する利用等化区間に励起光と同一波長の光成分を加圧する波長を備えた利得増強装置としての利用等化部26を有する。これは、

【0053】利得等化部20は、例えば図19に示すように、WDM信号光を複数の波長帯ごとに分離する分岐装置21と、各波長帯の信号光の利得等化化を行う波長帯等化器22と、各波長帯の信号光を合波する合波器23とを有する。分岐器22は、信号光を合波する合波器23とを有する。分岐器22は、入力ポート1に送られてきたWDM信号光を、図19の上図に示すような分岐特性に従って、WDM信号光の各波長帯ごとに分離する。

[illegible]

WDM信号光を光伝送路1に供給する。

(8)

13

ようにしてもよい。〔0047〕さらに、後方面起型の構造に示して説明し
 たが、例えば図11のラマン増幅器(WDMダブル)19を
 用いて、励起光18および合波器(WDM多重化)19を
 通過し、光伝送路17に対して後方面起光P₁〜P_nに加えて、
 前方面起光P₁′〜P_n′を供給するようにした双方向増
 起型の構造についても、光素子キュレータ12と分岐
 器18の間にファイバブラッググレーティング13Aを
 設けるようにしてもよい。このような構成の場合には、
 ファイバブラッググレーティング13Aによって、後方
 面起光のレーザ一軸光だけがなく前方面起光の漏れ光
 も抑止されることになり、ラマン増幅されたWDM信号
 の光の正値なモードが可能になる。加えて、双方向増起の構造に示した
 のと同様の構造を適用することが可能であり、各々の場合
 合の構成例を図12のラマン増幅器10D'および図1
 3のラマン増幅器10D'として示しておく。もちろん
 人、ここでは図示しないが前方面起型の構造に關して
 も、前方面起光の漏れ光を抑止するという点で本発明に
 有効である。

[illegible]

[10048]次に、本発明にかかわる光伝送システムに於ける実施形態について説明する。図15は、上述の光伝送システムの第1実施形態の構成を示す図である。

15の光伝送システム100Aは、例えば、上述の5に示した一般的なランダム構成について、各チャンネルとして、上述のような本発明によるランダム10Aを用いたものである。また、ここでは、光信号10Cを用いたものである。そして、先受側局101内のポストアンプ101Cおよび先受側局102内のプリアンプ102Cについても本発明のランプ10Aを適用し、ただし、ポストアンプ101Cについては、光伝送路103を増幅媒体とする分岐器10Eを適用して、

212

0A"など示すように、ファイバブランチンググレーティング13Aの直後（信号光の出方矯正後）に光アイソレータ15を挿入して、面起光をシングルモードで用いる。これにより、

(0043) 次に、本発明にかかるランパ増幅器の具体的な実施形態について説明する。図8は、第4の実施形態のランパ増幅器の構成を示すブロック図である。図8のランパ増幅器10Cは、例えば、ランパ増幅されたWDM信号の状態をモニタする機能を備えた構成にて本発明を適用した一例である。具体的には、励起光 P_1 と光伝送路1に供給する光の一部が出力ポート側へ出たか出力される光の一部が出力ポート側へ出てきたとして検波され、そのモニタ光が出力ポート側へ送出らるべく増幅されて、励起光 P_1 と同一モニタされる構成にて、励起光 P_1 と同一モニタ成分を抑圧するファイバブラッググレーティングの光成分を増大させるように構成されている。図8A及び図8Bに、光サマキュレータ12Aのポート2と分岐3Aの間に設けられる。

1(0044) 出力ミニタ部17は、例えば、分岐番で分岐されたモニタ光を受光してパワーを抽出するに、ラマン増幅したWDM信号光のWDM信号光の強度に比べてWDM信号光の強度が低くなるように、直視光に増幅をかけてWDM信号光強度が変調した直視光信号の伝送が行われる場合は、モニタ光から変調成分を抽出して直視光信号を処理を行うようにしてもよい。この出力ミニタ部17におけるモニタ結果は、ここでは特に明示しないが、例えば直視光線11の駆動状態の制御等に利用することが可能である。

【0045】このような構成のポート4枚出力された光は、光増幅器12のポート4枚出力された光に重畳されて、光増幅器10のポート4枚出力された光となる。

【0046】なお、上記の第3実施形態では、高い精度でモニタすることかてきるようになす。

レーティング13Aが配置される場合には、射出成形の向上による難着を低減し、例え光透過率を図るといふ点にのみ着目すれば、例えのランダム増幅10°Cに示すように、分液器1力モータ17の間にフアイバラッグレーティング13Aを配置することもある。また、前述した13Aに配置すると同様、ダブルパスにおける屈折に示した場合と同様に、ダブルパスにおける屈折相互作用が顕著影響を及ぼす可能性があることは、図15のランダム増幅10°C²などにより示すように、フアイバラッグレーティング13Aの環境に光学的レータ15を挿入して、屈折率をシングルパスで50

<http://www.nsd.co.jp/share/>

11

0.0Aについて、光伝送路1として正分散ファイバ1Aと負分散ファイバ1Bを順に接続した直伝送路を用いるようにしたものである。光伝送路1の前半部分に配置される正分散ファイバ1Aは、信号光に対して正の波長分散を有する正分散ファイバ1Aは、信号光に対して正の波長分散を有する正分散スロープを持つ光ファイバ1Aは、具体的には、1.9μm帯分散シミュレーションモードファイバ1Aである。一方、光伝送路2の後半部分に配置され、負分散ファイバ1Bは、正分散ファイバ1Aの波長分散および正分散スロープが相補可能なように設計し

れた負の複素分數および負の分數スロープを持つ光ファイバである。この負分數ファイバは、正分數ファイバに比べて非線形変調係数が小さく、ラマン利得を得やすい増幅媒質となる。したがって、光サーキュレータ12Aを介して供給される後方面起振によるラマン利得の大部分は単なる負分數ファイバ1Bにおいて与えられる。

[illegible][illegible]

正分散ファイバI A自体の非線形英効断面積が大きく、その影響は特に大きな問題とな

な利用法を得ることが、その影響を待たずにバ
ンコクにない。

〔0042〕このように第2英独形態のランダム増幅
0.9では、正分岐ランダム化による正分岐ファ
クタ1.1Bからなる両面伝送路に対しては精度よくても
前述の第1英独形態の場合と同様の効果を得ることが
可能である。なお、上述べた第1および第2英独形態の
ランダム増幅1.0、1.0Bでは、感起光をダブルバレー
で利用する場合を示したが、ファイバ光カクダレー
インテグレーションで反折された後方増幅等して感起率を及
されるもの、後方増幅等とが相互で増強して感起率を及
する場合がある。

一英独形態による場合がある。

印刷 FinePrint 2000 試用版

13
仰段までの各中継区間を伝播してラマン増幅されたWDM信号光および励起光のレーザ-散乱光等が分岐器21に入力されると、その分岐特性によって、各波長帯の境界中心波長が一致する励起光のレーザ-散乱光が導致され、励起光が伝播される。さらに、各利得増幅器22で利得増幅された後に合波器23で合波される際にも、分岐器21を通過したときと同様に励起光のレーザ-散乱光が伝播される。これにより、利得増幅器20からの出力光に含まれる励起光のレーザ-散乱光は大幅に減衰されるようになるため、クロストークや4光波通信、ラマン利得の特性変化などによる影響を低減することができ、広帯域のWDM信号光を良好な特性で中継伝送することが可能になる。

14
[0055] 次に、本発明にかかる光伝送システム3の実施形態について説明する。図21は、第3実施形態の光伝送システムの全体構成を示す図である。図21において、本光伝送システム100Cは、上記第2実施形態の光伝送システム100Bについて、利得増幅器20に代えて、励起光増幅器としての光フィルタ25と利得増幅器28とを設けたものである。上記以外の他の部分の構成は第2実施形態の場合と同様である。

15
[0056] 光フィルタ25は、上述の図1に示した本発明によるラマン増幅器の基本構成における光フィルタ13と同様のものであり、励起光と同一波長の光成分を抑制するフィルタ特性を有したものである。利得増幅器28は、光フィルタ25を通過したWDM信号光に含まれる各波長帯が所望のレベルとなるようにする公知の利得増幅器である。

16
[0057] このよう光伝送システム100Cでは、利得増幅器28の前後までの各中継区間を伝播してラマン増幅されたWDM信号光および励起光のレーザ-散乱光等が、利得増幅器28の光フィルタ25に入力されることにより、励起光のレーザ-散乱光が抑制され、前段の中継区間までに累積されたレーザ-散乱光を殆ど含まないWDM信号光が利得増幅器28に送られて利得増幅が行われるようになる。これにより、本光伝送システム100Cにおいて、第2実施形態の光伝送システム100Bの場合と同様の効果を得ることが可能になる。

17
[0058] なお、上記光伝送システム100Cでは、利得増幅器28について励起光増幅器としての光フィルタ25を設けたようにしたが、例えば図22に示すように、光受信用102のプリアンプ102Cの前段に励起光増幅器としての光フィルタ27を設け、光受信用102において、減衰された励起光のレーザ-散乱光等を抑制するようにしてもよい。

18
[0059] 次に、本発明にかかる光伝送システム3の実施形態について説明する。図23は、第4実施形態の光伝送システムの全体構成を示す図である。図23の光伝送システム100Dは、上述の図32に示したような光伝送路の状態を光時間領域反折計(OTDR)を利用

19
ルタ30を配置し、励起光の励起光がOTDR用の光路207に入力される前に抑制されるような構成とすることも可能である。また、ここでは後方励起型の構成例を説明したが、前方励起型または双方励起型の構成についても上記の構成は有効である。この場合には、前方励起光のレーザ-散乱光がOTDR用光路207上の光フィルタ30によって抑制されることになる。

20
[0082] 以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめると、

21
[0083] (付図1) 信号光が伝播する光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給し、励起増幅媒体を伝播する信号光をラマン増幅するラマン増幅器であって、励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有すると、励起増幅媒体を伝播した光に含まれる、前記信号光を抑制可能な励起光波長帯域を伝播した光を伝播することとを特徴とするラマン増幅器。

22
[0084] (付図2) 付図1に記載のラマン増幅器であって、励起光を発生する励起光発生部と、励起光の発生部からの励起光を信号光の伝播方向とは逆方向に伝播する後方励起光として前記増幅媒体に供給する各波長帯域とを有し、前記励起光波長帯域が、前記増幅媒体を伝播した光に含まれる後方励起光のレーザ-散乱光を抑制することとを特徴とするラマン増幅器。

23
[0085] (付図3) 付図2に記載のラマン増幅器100B5において、前記増幅媒体の信号光出力側に接続する第1ポートと、前記励起光発生部内の入力側に接続する第2ポートと、を有し、前記第1ポートから前記第2ポートに向かう光および前記第3ポートから前記第1ポートに向かう光を伝播可能な方向性を有することとを特徴とするラマン増幅器。

24
[0086] (付図4) 付図3に記載のラマン増幅器であって、前記合波部が、光サキュレータであることを特徴とするラマン増幅器。

25
[0087] (付図5) 付図2に記載のラマン増幅器であって、前記増幅媒体を伝播した光の一部を分岐する分岐部と、分岐部で分岐された光を基にラマン増幅された信号光をモニタする出力モニタ部と、を有することとを特徴とするラマン増幅器。

26
[0088] (付図6) 付図1に記載のラマン増幅器であって、励起光を発生する励起光発生部と、励起光の発生部からの励起光を信号光の伝播方向と同じ方向に伝播する前方励起光として前記増幅媒体に供給する各波長帯とを有し、前記励起光波長帯が、前記増幅媒体を伝播した光に含まれる前方励起光の励起光を抑制することとを特徴とするラマン増幅器。

27
[0089] (付図7) 付図8に記載のラマン増幅器であって、励起光を伝播する光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給し、励起増幅媒体を伝播する信号光をラマン増幅するラマン増幅器であって、励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有すると、励起増幅媒体を伝播した光に含まれる、前記信号光を抑制可能な励起光波長帯域を伝播した光を伝播することとを特徴とするラマン増幅器。

28
[0090] (付図8) 付図1に記載のラマン増幅器であって、励起光を伝播する光伝送路上の増幅媒体に励起光を供給し、励起増幅媒体を伝播する信号光をラマン増幅するラマン増幅器であって、励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有すると、励起増幅媒体を伝播した光に含まれる、前記信号光を抑制可能な励起光波長帯域を伝播した光を伝播することとを特徴とするラマン増幅器。

29
[0091] (付図9) 付図1に記載のラマン増幅器であって、前記励起光波長帯域は、信号光の波長帯域外にある励起光と同一波長の光成分も有することとを特徴とするラマン増幅器。

30
[0092] (付図10) 付図1に記載のラマン増幅器であって、前記励起光波長帯域は、励起光の波長帯域に対して透過率が急峻に変化する光フィルタであることを特徴とするラマン増幅器。

31
[0093] (付図11) 信号光が伝播する光伝送路上の増幅媒体にラマン増幅器からの励起光を供給して信号光をラマン増幅しながら伝送する光伝送システムであって、励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を有すると、励起増幅媒体を伝播した光に含まれる、前記信号光の波長帯域に重なる領域内の励起光と同一波長の光成分を抑制可能な励起光波長帯域を伝播した光を伝播することとを特徴とする光伝送システム。

32
[0094] (付図12) 付図11に記載の光伝送システムであって、前記励起光波長帯域は、信号光の波長帯域外にある励起光と同一波長の光成分も有することとを特徴とする光伝送システム。

33
[0095] (付図13) 付図11に記載の光伝送システムであって、光伝送路を伝播する信号光の利得増幅特性を制御する利得増幅装置を含み、前記励起光波長帯域が、前記利得増幅装置内に設けられたことを特徴とする光伝送システム。

34
[0096] (付図14) 付図13に記載の光伝送システムであって、前記利得増幅装置は、前記信号光の波長帯域に重なる領域内の励起光の波長を少なくとも境界として、信号光を励起光の波長帯域に重なる領域と、分岐部で分岐された各波長帯の信号光とともに利得増幅を行う複数の利得増幅部と、各利得増幅部で利得増幅された各波長帯の信号光を合波する合波部とを有し、前記分岐部および前記合波部が前記励起光波長帯域と同一波長帯域であることを特徴とする光伝送システム。

35
[0097] (付図15) 付図11に記載の光伝送システムであって、光伝送路を伝播した信号光を受信増幅

13A ファイバブラッググレーティング
14, 15 光アイソレータ
16, 21 分波器
17 出力モニタ部
20 利得増化部
22, 28 利得増化器
207 OTDR用光源
P₁~P₄ 励起光
R₁~R₄ レーザ一般乱光
S₁~S₄ 信号光

【図30】従来のラマン増幅器における4光伝送システムの構成を示すブロック図である。

【図31】出力モニタ部を備えた従来のラマン増幅器における問題点を説明するための図である。

【図32】OTDR測定のための光路を備えた従来の光伝送システムにおける問題点を説明するための図である。

【符号の説明】
1 光伝送路
10 ラマン増幅器
11, 18 励起光源
12, 19, 23 合波器
12A 光サーキュレータ

特開2003-198485

20

成例を示すブロック図である。

【図6】本発明にかかるラマン増幅器の第2実施形態の構成を示すブロック図である。

【図7】第2実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明にかかるラマン増幅器の第3実施形態の構成を示すブロック図である。

【図9】第3実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成を示すブロック図である。

【図10】第3実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成を示すブロック図である。

【図11】第3実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成を示すブロック図である。

【図12】図11の構成例に関する変形例を示すブロック図である。

【図13】図11の構成例に関する他の変形例を示すブロック図である。

【図14】本発明のラマン増幅器に用いられる光フィルタの特性例を示す図である。

【図15】本発明にかかる光伝送システムの第1実施形態の構成例を示す図である。

【図16】第1実施形態の光伝送システムにおける動作を説明するための概念図である。

【図17】第1実施形態の光伝送システムに関連した他の構成例を示す図である。

【図18】本発明にかかる光伝送システムの第2実施形態の構成例を示す図である。

【図19】第2実施形態の光伝送システムにおける利得等化部の構成例を示す図である。

【図20】図18の分波器の特性を説明するための図である。

【図21】本発明にかかる光伝送システムの第3実施形態の構成例を示す図である。

【図22】第3実施形態の光伝送システムに関連した他の構成例を示す図である。

【図23】本発明にかかる光伝送システムの第4実施形態の構成例を示す図である。

【図24】第4実施形態の光伝送システムに関連した他の構成例を示す図である。

【図25】一般的なWDM光増幅中継伝送システムの構成例を示す図である。

【図26】従来のラマン増幅器の構成例を示す図である。

【図27】従来のラマン増幅器における励起光および信号光の波長配置例を示す図である。

【図28】従来のラマン増幅器において励起光の合波器として光サーキュレータを用いた一例を示す図である。

【図29】従来のラマン増幅器において信号光の広帯域化を図った励起光の波長配置例を示す図である。

19

する光受信装置を有し、前記励起光波長抑圧部が、前記光受信装置内に設けられたことを特徴とする光伝送システム。

【0078】（付記16）付記11に記載の光伝送システムであって、信号光が互いに異なる方向に伝播する一対の光伝送路と、該各光伝送路の状態が光時間領域反射計（OTDR）を利用して測定可能なように、各々の光伝送路の間を互いに接続したOTDR用光路と、を有し、前記励起光波長抑圧部が、前記OTDR用光路上に配置されたことを特徴とする光伝送システム。

【0079】（付記17）付記11に記載の光伝送システムであって、信号光が互いに異なる方向に伝播する一対の光伝送路と、該各光伝送路の状態が光時間領域反射計（OTDR）を利用して測定可能なように、各々の光伝送路の間を互いに接続したOTDR用光路と、を有し、前記励起光波長抑圧部が、前記各光伝送路上における前記OTDR用光路との接続部近傍にそれぞれ配置されたことを特徴とする光伝送システム。

【0080】（付記18）付記11に記載の光伝送システムであって、前記励起光波長抑圧部は、信号光の波長帯域外にある励起光と同一波長の光成分も抑圧することを特徴とする光伝送システム。

【0081】（付記19）付記11に記載の光伝送システムであって、前記励起光波長抑圧部は、励起光の波長に対応して透過率が急峻に変化する光フィルタであることを特徴とする光伝送システム。

【0082】（発明の効果）以上説明したように、本発明のラマン増幅器および光伝送システムによれば、励起光の波長帯域が信号光の波長帯域に重なるような波長配置を適用して信号光の広帯域化を図るような場合でも、信号光の波長帯域内に含まれる励起光と同一波長の光成分を抑制可能な励起光波長抑圧部を設けたことにより、後方励起光のレーザ一般乱光や前方励起光の励起光を殆ど含まないラマン増幅された信号光を伝送することが可能になる。これにより、励起光に起因して生じるクロストークや4光波混合光などによる特性劣化を低減することのできる。信号光の広帯域化を実現した大容量の光伝送システムを構築することが可能になる。

【図面の簡単な説明】
【図1】本発明にかかるラマン増幅器の基本構成を示すブロック図である。

【図2】図1の基本構成における励起光および信号光の波長配置例を示す図である。

【図3】本発明にかかるラマン増幅器の第1実施形態の構成を示すブロック図である。

【図4】第1実施形態のラマン増幅器におけるファイバブラッググレーティングのフィルタ特性を説明するための図である。

【図5】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

【図6】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

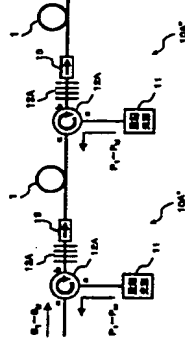
【図7】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

【図8】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

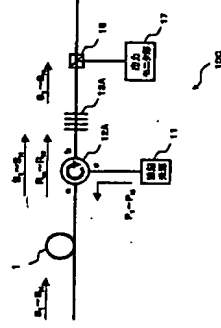
【図9】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

【図10】第1実施形態のラマン増幅器に関連した他の構成例を示す図である。

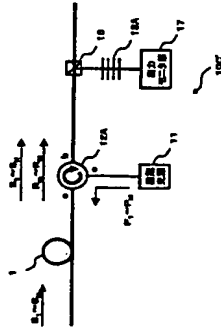
【図7】



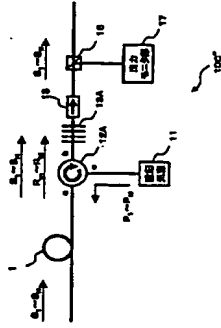
【図8】



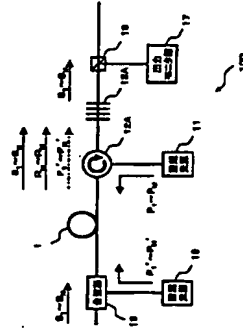
【図9】



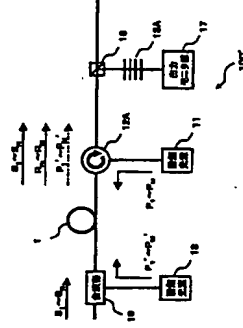
【図10】



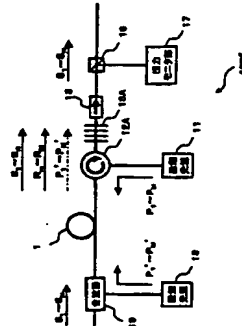
【図11】



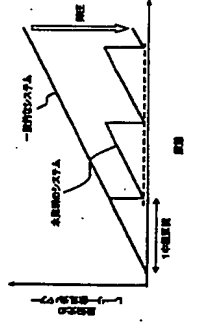
【図12】



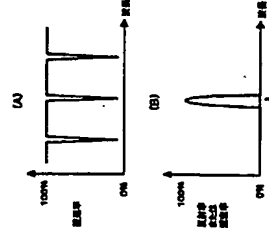
【図13】



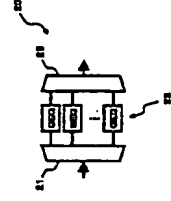
【図16】



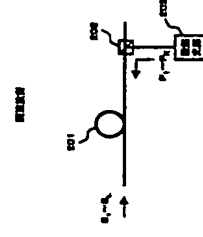
【図14】



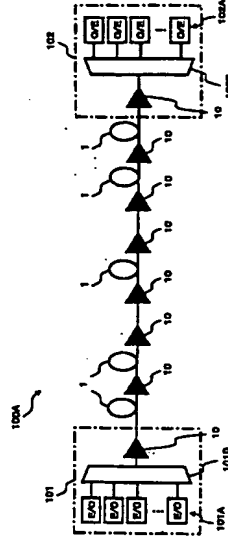
【図19】



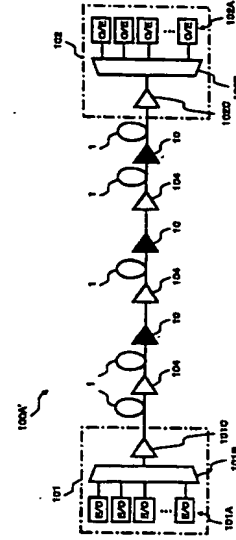
【図28】



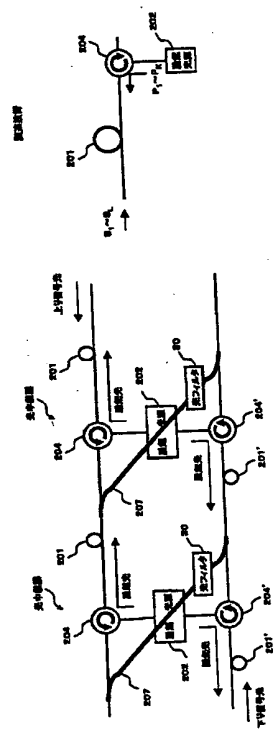
【図15】



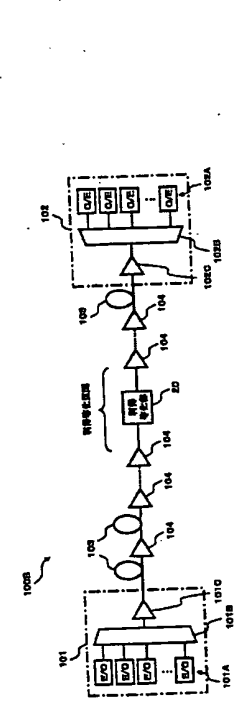
【図17】



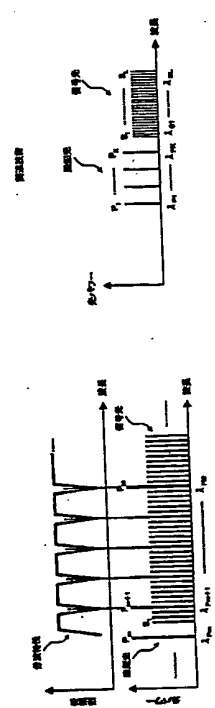
【図23】



【図24】



【図25】



特開2003-188485

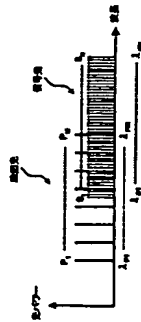
(12)

特開2003-188485

(18)

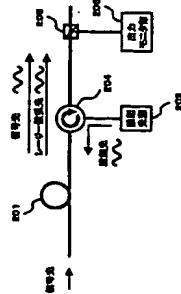
【図28】

図28



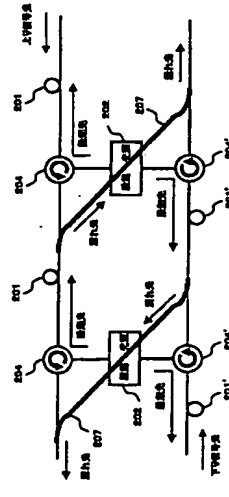
【図31】

図31



【図32】

図32

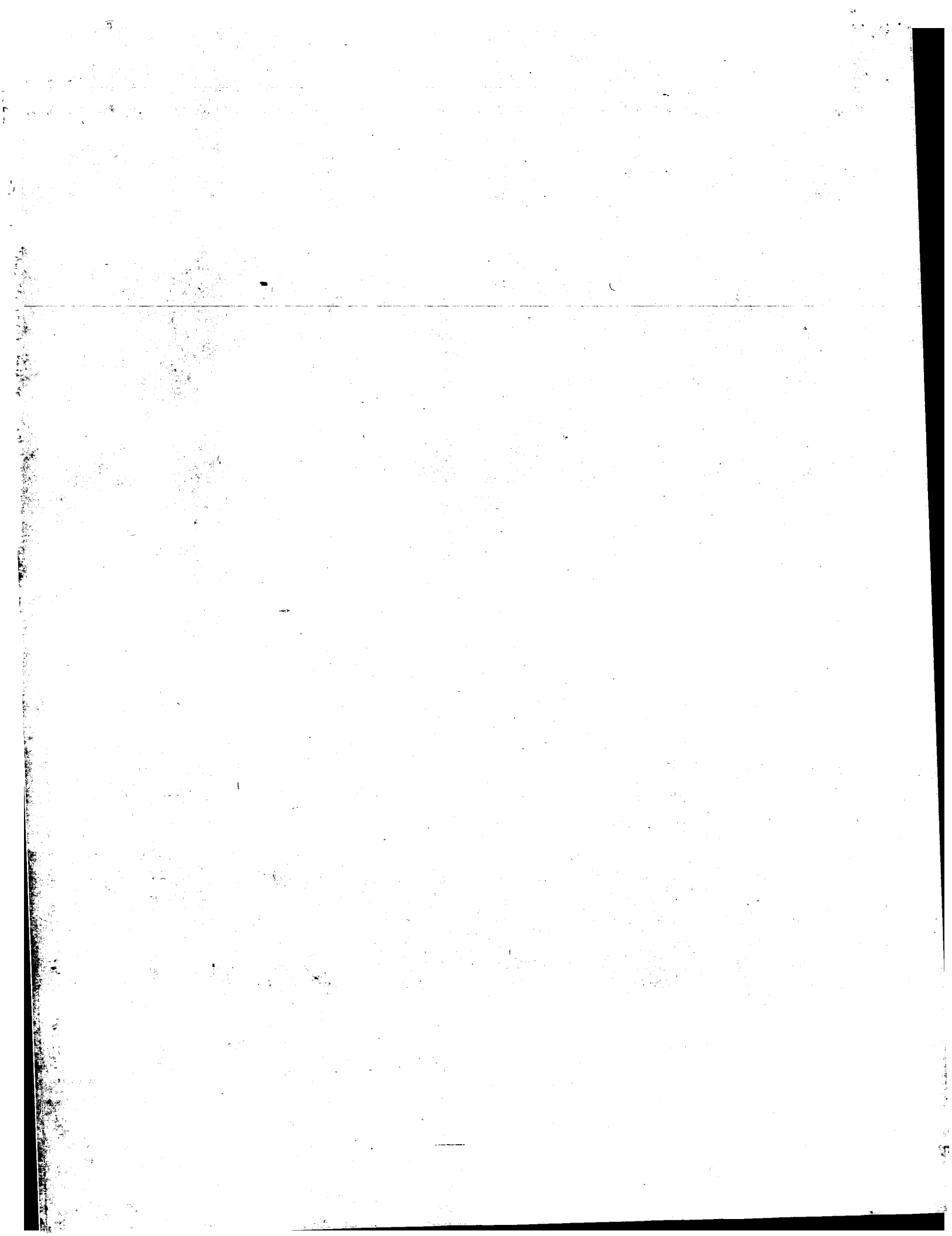


(72)発明者 内藤 崇男
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2K002 A02 A830 B001 C013 D010
H02J
5F072 A007 A008 F007 Q037 Y017
5K002 A005 C002 C003 C008 C013
D002

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	ターム(参考)
H04 B	H04 B 9/00	E
10/28		
H04 J	14/00	
14/02		



スラント型ファイバグレーティングを用いた利得等化器

光電子技術研究所 丹 羽 敦 彦^{*1}・二本柳 明 展^{*1}・奥 出 聡^{*1}・田 中 大 一 郎^{*2}
光ファイバ事業部 須 藤 正 明^{*3}

Gain Equalizer Using Slanted Fiber Bragg Gratings

A. Niwa, M. Sudoh, A. Nihon-yanagi, S. Okude & D. Tanaka

スラント型ファイバグレーティング (SFBG) を用いることで、広帯域かつ等化偏差の小さい利得等化器を実現した。作製した広帯域SFBG利得等化器では、39nmの帯域幅で利得平坦性が0.19dBp-pという優れた特性を得た。さらにTelcordia GR-1209 coreおよびGR-1221 core準拠試験を行い、その高信頼性を確認した。

A gain equalizer with a wide operation bandwidth has been realized by using slanted fiber Bragg grating (SFBG) technology. The fabricated SFBG has superior quality of a small loss deviation of 0.19 dBp-p to the target loss spectrum over 39nm wavelength range. Moreover, the reliability tests in accordance with Telcordia GR-1209 core and GR-1221 core requirements were performed and the high reliability has been confirmed.

1. ま え が き

近年、インターネットの普及などにより拡大した通信需要にこたえるため、高密度波長多重 (Dense Wavelength Division Multiplexing, 以下DWDM) 伝送技術を導入した光通信システムが構築されている。このような光通信システムでは、信号光の増幅のため、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (Erbium-doped Fiber Amplifier, 以下EDFA) が用いられるが、EDFAは比較的利得波長帯域が広い反面、波長帯域内で増幅度に波長依存性を持つという欠点がある。

DWDM伝送では多段中継増幅の場合、もっともレベルが低い信号光の品質により伝送距離が制限されるため、利得波長特性は平坦であることが望ましい。このため、EDFAの利得を平坦化する利得等化器 (Gain Equalizer, 以下GEQ) が必要となる。今後、さらに増え続ける通信需要に対応して、EDFAの利得波長帯域の拡大が要求されていることから、GEQにも等化波長帯域の拡大が求められている。

GEQとしてはこれまでに、長周期型ファイバグレーティング¹⁾、エタロンフィルタ²⁾、誘電体多層膜フィルタ³⁾など各種方式が用いられてきた。今回当社は従来のGEQに比べて設計自由度が高く広帯域な等化特性が実現できるスラント型光ファイバグレーティング (Slanted Fiber Bragg Grating, 以下SFBG) を用いたGEQ (SFBG-GEQ) の開発を行い、利得等化帯域幅39nmにおいて等化偏差

(目標損失との差) 0.19dBp-pを実現した。

本報では、SFBG-GEQの動作原理、光学特性、および信頼性について述べる。

2. SFBG-GEQの原理

通常の短周期型FGは反射型素子であるため、GEQに適用すると、FGからの反射光がEDFAに戻ることで増幅特性に悪影響を与えたり、グレーティング内の多重反射により透過スペクトルにリップルを生じたりする。このような問題を回避するために、(1) FGからの反射光を抑制し、(2) 主に損失だけを発生させ、(3) 干渉によるリップルを抑えることが可能な、SFBG⁴⁾を利用した。

SFBGは、図1のようにグレーティング方向 (屈折率上昇がおきている面に垂直な方向) を光ファイバ軸から傾ける (スラントさせる、以後この角度をスラント角度という) ことにより、導波モードからそれと逆方向に伝搬する導波モード (反射モード) への結合を抑制し、グレーティング周期で決まる特定波長の光を後進クラッドモードへ結合させる。クラッドモードに結合した光はファイバ外に放出され、損失となるので、特定波長に損失を与える波長フィルタとして機能する。このときスラント

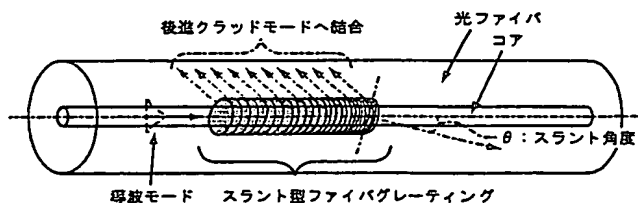


図1 SFBGの動作原理
Operation principle of SFBG

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループ長

*3 光技術部

角度を最適化することで反射モードの結合は十分に小さくすることができ、従来の短周期型FGでみられた透過損失リップルを抑制できる。

最適なスラント角度を持つ短いグレーティングの透過損失スペクトル（基本スペクトル）は、図2（a）に示すようにグレーティング周期に対応した波長を中心として、ある広がりを持った分布となる。グレーティング周期が変化してもこのスペクトル形状は保持されたまま、中心波長のみが変化する。よって、グレーティングの周期が長手方向に徐々に変化するチャートグレーティング構造を採用し、図2（b）に示すようにそれぞれの位置での屈折率変調振幅を制御することで、図2（c）に示すように所望の損失を得ることができる。

3. SFBG用光ファイバ

広帯域のGEQを実現するためには、より急峻な損失波長変化を実現する必要がある。このためには、図2（a）に示す基本スペクトル幅はできるだけ小さいことが望ましい。例えば、通常のSMファイバを用いた場合、反射が十分に抑制されるスラント角度では、基本スペクトル幅が20nmを越えるためGEQとして利用することができない。EDFAのGEQとしては、基本スペクトル幅10nm程度以下が必要とされる。そのため、コアおよびクラッドに対する紫外光感受性を最適化し、狭帯域な基本スペクトルが得られるSFBG専用ファイバの開発を行った。図3にそのファイバの基本スペクトルを示す。基本スペクトルの帯域幅は非常に狭帯域であり、より複雑な損失スペクトルが実現可能になった。基本スペクトルの帯域幅を最大損失の1/10のときの波長帯域幅として定義すると、それぞれ7nmおよび12nmとなる。

4. 微小リップルの低減

SFBGは反射モードへの結合を抑えているので、グレーティング内の多重反射による損失リップルは十分に小さいものの、クラッドからコアへ戻ってくる光がわずかに存在し、その干渉により0.2dBp-p程度のリップルが存在する。この値は、長距離光中継システムでEDFAとSFBG-GEQを多段に接続した場合、信号の大きな歪みの原因に

なる可能性があるため低減する必要がある。そこでリップル低減の方法として、クラッド周囲を光ファイバと同程度の屈折率を持つ材料で覆い、コアに光が戻らないような構造を採用した。図4に屈折率が同程度の樹脂で覆う前後のSFBG-GEQの透過特性を示す。ファイバ周囲を覆った場合（太線）リップルがほぼなくなり、平均的な損失は変化していないことがわかる。

5. 広帯域SFBG-GEQ

5.1 広帯域SFBG-GEQの設計

一般的なEDFAの利得波長特性は、図5に示すような

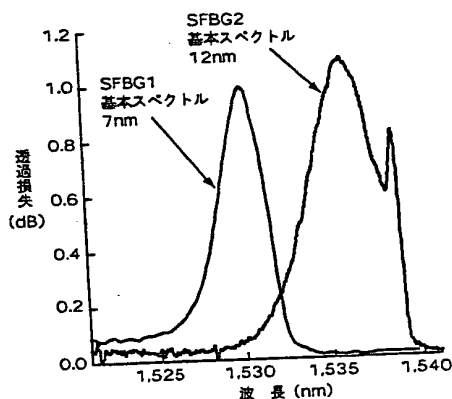


図3 SFBG用ファイバの基本スペクトル
Fundamental spectra of two types of SFBG fiber

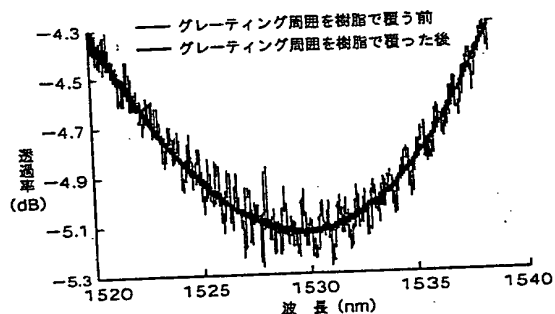


図4 微小リップルの低減
Decrease of small ripple

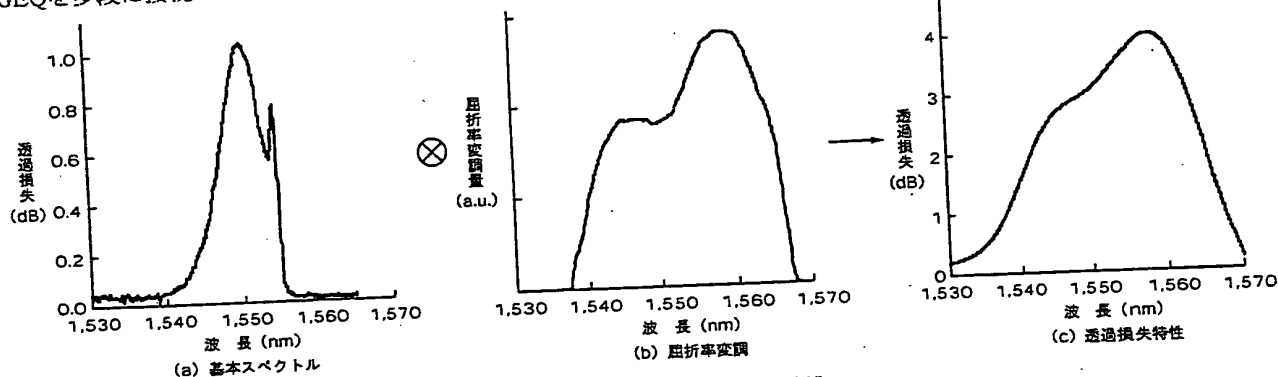


図2 SFBG-GEQ透過損失特性の制御
Control of SFBG-GEQ transmission spectrum

1,530nm付近と1,560nm付近に2つの異なるピークを持つ。従来の帯域幅20~30nm程度のEDFAでは1,560nm帯のみを利得等化して利用していたが、より広帯域のEDFAを実現するためには1,530nm帯の増幅帯域も利用する必要がある。これら2つの帯域をすべて等化できるGEQを実現するため、それぞれの範囲を個別に等化するよう異なる2種類のSFBGを組み合わせ、図5上に示すように2つを直列に接続することで目標とする損失波長特性を実現できるように設計を行った。SFBG1には図3に示すような7nmの狭い帯域幅の基本スペクトルを持つファイバを用い、図5の1,530nm付近の急峻なピークを等化することに主眼を置いた。一方、1,560nm付近のピークは急峻ではないため、SFBG2には容易に大きな損失の得られる12nmの基本スペクトル帯域幅を持つファイバを採用した。それぞれの帯域に最適化したSFBG1とSFBG2を組み合わせることで、設計上1,528.2nm~1,567.2nmの39nmの帯域を

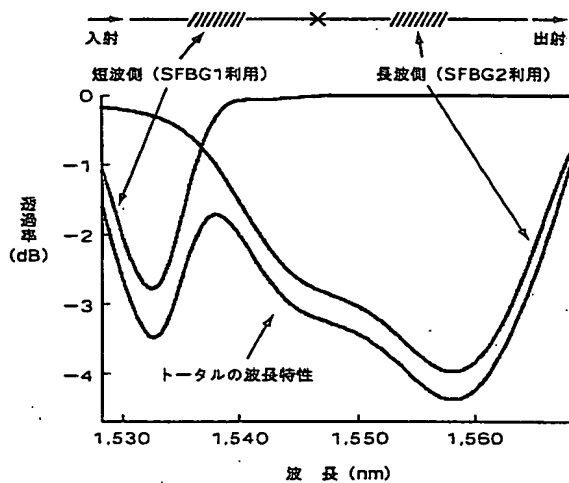


図5 広帯域SFBG-GEQ設計透過スペクトルおよび構成
Structure and designed transmission spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

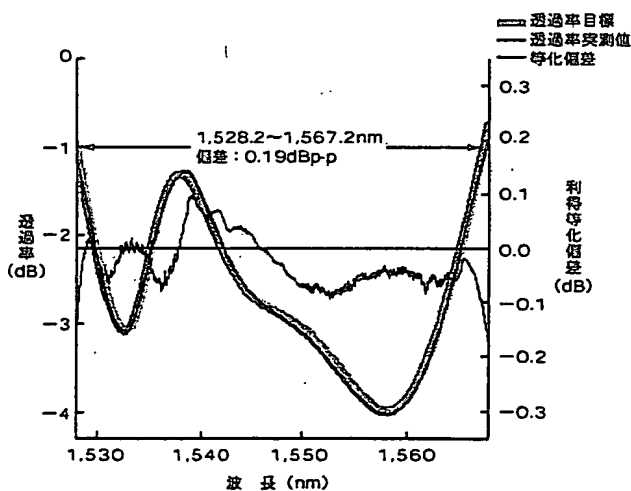


図6 作製した広帯域SFBG-GEQの透過特性および
目標からの偏差
Loss spectrum of the fabricated wide bandwidth SFBG-GEQ

0.098dBp-pで等化できるSFBG-GEQが実現できる。

5.2 広帯域SFBG-GEQの光学特性

作製した広帯域SFBG-GEQの透過スペクトル、目標スペクトルおよび目標からの偏差を図6に示す。得られた透過スペクトルは目標とほぼ重なっていることがわかる。偏差の最大値と最小値の差は1,528.2~1,567.2nmの範囲(39nm帯域)で0.19dBp-pであった。この値は前節で示した設計値よりも若干悪い値であるが、従来のGEQと比較して広帯域かつ低偏差である。

反射特性を図7に示す。スラント角度の最適化により反射率は十分低く抑えられており、使用帯域内での最大反射率は-27dBである。その他光学諸特性を表1にまとめた。

6. 信頼性

SFBG-GEQのパッケージ構造として、これまでにわれわれが開発した高信頼度光カプラ、光ファイバグレーティングと同じ構造を採用した。SFBG-GEQの信頼性を確

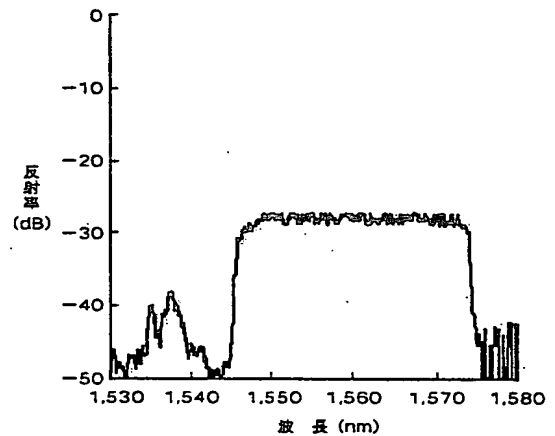


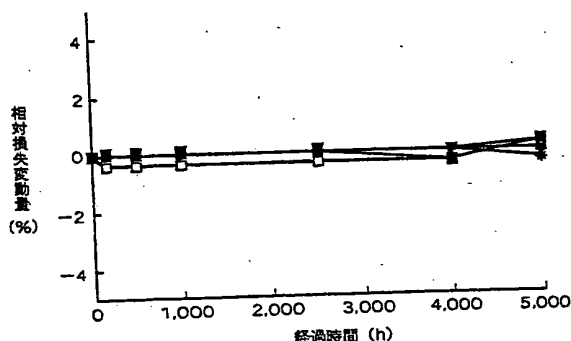
図7 広帯域SFBG-GEQの反射特性
Reflection spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

表1 光学諸特性
Optical characteristics

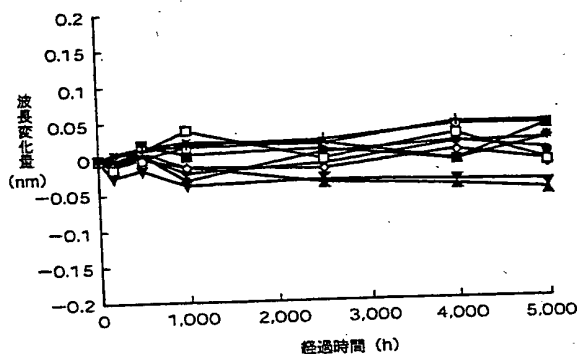
項目	数値
挿入損失	0.7 dB
PDL	<0.1 dB
波長分散	0~0.1 ps/nm
温度特性	0.01 nm/℃
微小リップル	<0.03 dB

表2 信頼性試験の主な項目
Main test items of reliability test

試験項目	条件
ヒートサイクル試験	75/-40℃ 5,000h
高温高湿試験	75℃ 90% R.H. 5,000h
高温試験	85℃ 5,000h
低温試験	-40℃ 5,000h
振動試験	正弦波 / ランダム3軸
衝撃試験	1,000G 1ms 3軸
引っ張り試験	水平450gf / 垂直230gf



(a) 相対損失変動



(b) 波長変化量

図8 低温試験結果
Results of low temperature test

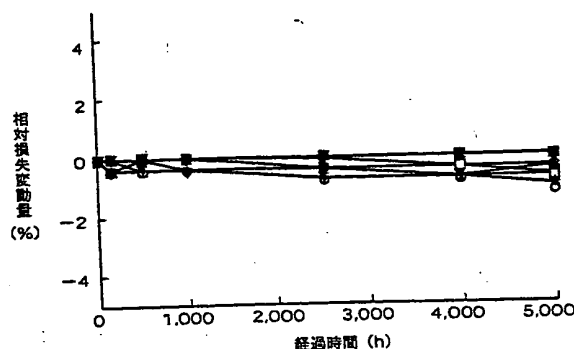
認するために、Telcordia GR-1221 core およびGR-1209 core準拠の試験を実施した。主な試験項目および条件を表2に示す。試験に対する評価は以下の項目について行った。

- ・最大透過損失値（初期損失に対する相対変化）
- ・最大透過損失波長（損失が最大になる波長）
- ・挿入損失

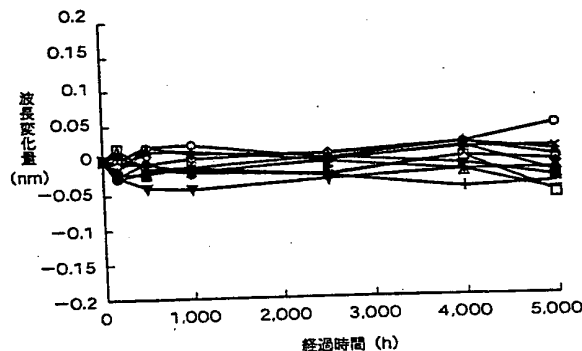
試験結果の例として、図8、図9に低温試験、ヒートサイクル試験の結果を示す。5,000時間後の最大透過損失の変動幅は±1%以内（約±0.03dB以内）であり、最大透過損失波長の変動幅は±0.05nm以内であった。これらの値はいずれも測定精度以内で、特性変動は非常に小さいことがわかる。その他の試験結果においても、特性の変動は非常に小さく、SFBG-GEQは高い信頼性を持っていることが確認できた。

7. む す び

スラント型ファイバグレーティングを用いて、39nm帯域の広帯域SFBG-GEQを実現した。広帯域SFBG-GEQの利得等化特性は39nmの帯域で利得等化偏差0.19dBp-pであった。実現した特性は、従来の利得等化技術と比べ広帯域かつ低偏差であり、優れた利得等化技術であるといえ



(a) 相対損失変動



(b) 波長変化量

図9 ヒートサイクル試験結果
Results of temperature cycle test

る。また信頼性の点においても、Telcordia GR-1221core およびGR-1209core準拠の試験により十分高い信頼性を持つことが確認できた。

DWDM伝送方式においては信号帯域拡大の傾向が続いており、SFBG-GEQは次世代の広帯域EDFAを実現するために必須のデバイスとなると期待される。

参 考 文 献

- 1) A. M. Vengsarkar, et al: Long-period fiber-grating-based gain equalizers, Opt. Lett., Vol.21, pp. 336-338, 1996
- 2) K. Shima, et al: A novel temperature-insensitive long-period fiber grating using a boron-codope-germanosilicate-core fiber, Tech. Digest OFC'97, FB2, pp. 347-348, 1997
- 3) T. Naito, et al.: Gain equalizer in long-haul WDM transmission system, IEICE Trans. Electron., Vol.E81-C, 8, pp. 1293-1300, 1998
- 4) N. Shimojoh, et al.: New gain equalization scheme in WDM optical amplifier repeated transmission systems, OECC'96, Technical Digest, 17B3-3, pp. 120-121, 1996
- 5) M. J. Holmes, et al: Physical properties of optical fiber sidetap grating filters: Free-space model, IEEE J. Selected Topics Quantum Electron., Vol.5, pp. 1353-1365, 1999